

KRITISI DESAIN *PSEUDO* ELASTIS PADA BANGUNAN BERATURAN 6- DAN 10-LANTAI DENGAN DENAH PERSEGI PANJANG DI WILAYAH 2 PETA GEMPA INDONESIA

Fransisca Wijaya¹, Liske Widjojo², Ima Muljati³, Benjamin Lumantarna⁴

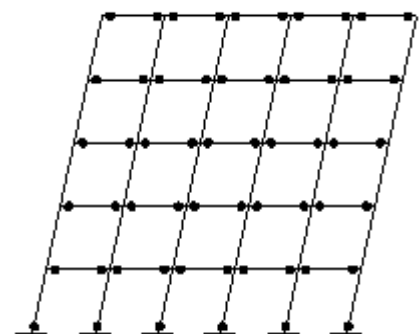
ABSTRAK : *Pseudo* elastis merupakan alternatif dalam perencanaan bangunan dengan mekanisme keruntuhan *partial side sway*. Mekanisme ini menggunakan konsep bahwa distribusi gaya geser tersebar merata pada seluruh kolom sampai kolom plastis mengalami pelelehan, lalu kelebihan gaya geser dialihkan pada kolom elastis. Oleh karena itu, beberapa kolom didesain tetap elastis selama terkena gempa dengan cara memperbesar gaya rencana akibat gempa menggunakan suatu Faktor Pengali, sedangkan balok dan beberapa kolom lainnya diperbolehkan mengalami sendi plastis. Metode ini berbeda dengan metode desain kapasitas dimana seluruh kolom didesain terhadap balok-balok yang merangkanya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji asumsi distribusi gaya geser dalam konsep desain *Pseudo* elastis, serta memeriksa apakah *partial side sway mechanism* dapat terjadi dengan desain *Pseudo* elastis pada bangunan beraturan 6- dan 10-lantai dengan denah persegi panjang di wilayah 2 Peta Gempa Indonesia. Kriteria desain yang digunakan adalah konfigurasi kolom *perimeter* didesain sebagai kolom elastis, dimensi kolom eksterior dan interior sama, serta tidak menggunakan rasio tulangan minimum pada seluruh kolom. Pengujian asumsi distribusi gaya geser dasar dan mekanisme keruntuhan bangunan ditinjau dengan analisis dinamis *time history nonlinear*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asumsi distribusi gaya geser dalam desain *Pseudo* elastis tidak benar, serta *partial side sway mechanism* tidak terjadi karena kolom interior mengalami fraktur.

KATA KUNCI: *pseudo* elastis, faktor pengali, distribusi gaya geser dasar, *partial side sway mechanism*.

1. PENDAHULUAN

Perencanaan struktur terhadap gempa di Indonesia saat ini masih mengacu pada pola keruntuhan *side sway mechanism* yang berarti bahwa sendi plastis hanya boleh terjadi pada ujung balok dan ujung bawah kolom lantai terbawah. Desain kapasitas merupakan cara agar memperoleh *side sway mechanism* seperti terlihat pada **Gambar 1**. Desain dengan cara tersebut mengharuskan kolom lebih kuat daripada balok atau *strong column weak beam*. Pada SNI 03-2847-2002, terdapat *overstrength factor* sebesar 1.2 untuk kolom agar *strong column weak beam* tercapai.

Selain pola keruntuhan *side sway mechanism*, terdapat alternatif keruntuhan yaitu *partial side sway mechanism* (Paulay, 1995).



Gambar 1. Side Sway Mechanism

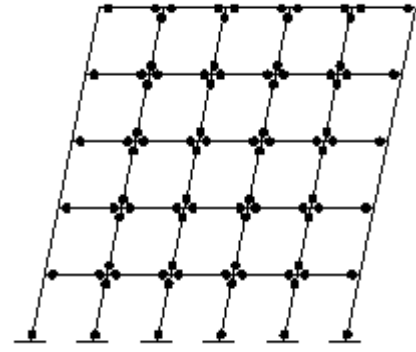
¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, fransisca_92@yahoo.com.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, liskewidjojo@hotmail.com.

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, imuljati@peter.petra.ac.id.

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, bluman@peter.petra.ac.id.

Pola keruntuhan ini didasari oleh sulitnya mewujudkan konsep *strong column weak beam* pada kolom interior. Berdasarkan beban aksial yang diterima, kolom interior akan menerima beban yang lebih besar sehingga dimensinya lebih besar daripada kolom eksterior. Desain kapasitas menyebabkan dimensi kolom interior semakin membesar. Selain itu waktu desain juga akan lebih lama karena desain kolom baru dapat dilakukan setelah desain balok selesai. Perbedaan mendasar dari *side sway mechanism* dan *partial side sway mechanism* adalah diperbolehkannya terjadi sendi plastis pada ujung kolom interior di seluruh lantai seperti pada **Gambar 2**, sedangkan kolom eksterior hanya boleh mengalami sendi plastis di ujung bawah lantai terbawah.



Gambar 2. Portal Interior berdasarkan *Partial Side Sway Mechanism*

Partial side sway mechanism ini dipakai pada desain *Pseudo* elastis. Pada desain ini, mula-mula gaya geser diterima oleh seluruh kolom hingga kolom plastis mengalami pelelehan. Kelebihan gaya setelah pelelehan pada kolom plastis terbentuk kemudian dialihkan ke kolom elastis. Oleh karena itu kolom elastis harus memiliki kapasitas lebih besar daripada kolom plastis. Konsep itu dirumuskan pada Persamaan (1).

$$n_{ex} \times S_{ex}^T = V_t^T - f_1 \times n_{in} \times S_{in}^N \quad (1)$$

Keterangan :

n_{ex} = jumlah kolom eksterior

n_{in} = jumlah kolom interior

S_{ex}^T = gaya geser dasar pada kolom eksterior akibat gempa nominal

S_{in}^N = gaya geser dasar pada kolom interior akibat gempa nominal

f_1 = *overstrength factor*

V_t^T = gaya geser dasar total akibat gempa nominal

Untuk dapat menjamin kapasitas kolom elastis mampu menahan kelebihan gaya geser dari kolom plastis, pada desain *Pseudo* elastis ini diperlukan suatu Faktor Pengali (FP). Rumusan FP ini sendiri telah mengalami perkembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian mengenai rumusan FP ini dilakukan terakhir oleh Muljati dan Lumantarna (2008) yang menghasilkan rumusan FP pada Persamaan (2). Penelitian tersebut juga menghasilkan rumusan periode plastis pada Persamaan (3).

$$FP = \frac{\frac{C^T}{C^{500th}} \times \mu - f_1 \times n_{int} \times R_{int}}{n_{eks} \times R_{eks}} \quad (2)$$

$$T_{plastis} = 2.967 T_{elastis} + 0.313 \quad (3)$$

Keterangan :

FP = Faktor Pengali

C^T = koefisien gempa target

C^{500th} = koefisien gempa 500 tahun

μ = nilai faktor daktilitas struktur

f_1 = *overstrength factor* sebesar 1.6 (berasal dari perkalian faktor kuat bahan sebesar 1.28 dan faktor lebih bahan sebesar 1.25 sesuai SNI 03-1726-2002)

n_{int} = jumlah kolom interior

n_{eks} = jumlah kolom eksterior

R_{int} = nilai rata-rata rasio gaya geser dasar pada kolom interior akibat gempa nominal

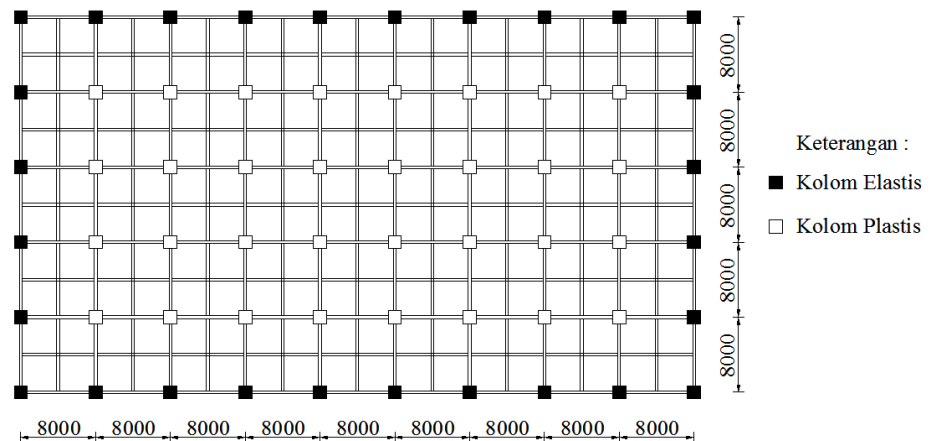
R_{eks} = nilai rata-rata rasio gaya geser dasar pada kolom eksterior akibat gempa nominal
 $T_{plastis}$ = periode bangunan setelah mengalami plastifikasi
 $T_{elastis}$ = periode bangunan saat masih elastis

Rumusan FP merupakan hal yang penting dalam desain *Pseudo* elastis. Melalui rumusan FP yang baik, dapat diperoleh pola keruntuhan *partial side sway mechanism*. Rumusan FP ini telah berulang kali mengalami modifikasi seiring dengan penelitian-penelitian yang dilakukan. Pada mulanya rumusan FP diteliti berdasarkan portal 2 dimensi oleh Tindrawati dan Juliana (1997). Penelitian terhadap portal 3 dimensi oleh Chandra dan Dhannyanto (2003). Rumusan FP berdasarkan Chandra dan Dhannyanto (2003) masih terus mengalami perubahan. Pada penelitian Harryanto dan Tangguh (2004), rumusan FP ditambahkan dengan faktor daktilitas. Sutedjo dan Tingkir (2005) melanjutkan modifikasi rumusan FP dengan menambahkan *overstrength factor*. Rumusan FP kembali dimodifikasi dengan memperhitungkan respons plastis bangunan pasca mengalami gempa oleh Muljati *et al.* (2006). Efek plastifikasi tersebut diwakili oleh koefisien gempa target (C^T). Koefisien tersebut diperoleh dari respons spektrum elastis SNI 03-1726-2002 berdasarkan periode plastis bangunan. Rumusan FP oleh Muljati *et al.* (2006) ini mengalami modifikasi pada rumusan periode plastisnya oleh penelitian Muljati dan Lumantarna (2008). Rumusan FP dan periode plastis tersebut terbukti berhasil digunakan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yaitu terhadap bangunan beraturan berdenah persegi, bangunan dengan *vertical set-back* 50%, dan bangunan dengan coakan 40%. Namun ada juga penelitian-penelitian terhadap bangunan beraturan yang gagal walaupun menggunakan rumusan FP yang oleh penelitian Muljati dan Lumantarna (2008) yaitu Hadiwijaya dan Rosita (2009) serta Pratama dan Djami (2011).

2. TUJUAN

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, tidak pernah dilakukan pengujian terhadap asumsi gaya geser yang terjadi pada konsep desain *Pseudo* elastis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan melakukan pengujian asumsi distribusi gaya geser dalam desain *Pseudo* elastis pada bangunan beraturan 6- dan 10-lantai dengan denah persegi panjang di wilayah 2 Peta Gempa Indonesia. **Gambar 3** menunjukkan denah struktur yang diteliti. Analisis dinamis *Time History* menggunakan Gempa El-Centro 15 Mei 1940 N-S yang dimodifikasi sesuai respons spektrum wilayah 2 Peta Gempa Indonesia dengan periode ulang 500 tahun.

Perencanaan kolom elastis tetap menggunakan rumusan FP dari penelitian Muljati dan Lumantarna (2008). Selain pengujian asumsi distribusi gaya geser, juga akan diperiksa apakah kinerja bangunan memenuhi *partial side sway mechanism* dengan desain *Pseudo* elastis.



Gambar 3. Denah Bangunan Beraturan yang Diteliti

3. METODOLOGI PENELITIAN

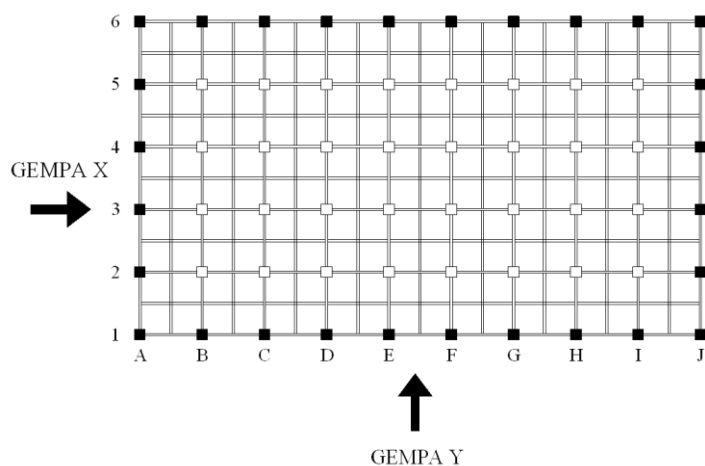
Berikut ini merupakan tahapan-tahapan penelitian :

1. Pemilihan denah beserta konfigurasi kolom *perimeter* sebagai kolom elastis. Berdasarkan denah tersebut dilakukan penentuan dimensi struktur sesuai dengan kriteria desain yang digunakan dalam penelitian ini.
2. Bangunan dimodelkan dalam program ETABS v9.0.7 (CSI, 2005), diberikan beban-beban yang terjadi, dan dilakukan pengujian kinerja batas layan maupun *ultimate*. Apabila pengujian ini belum memenuhi syarat sesuai SNI 03-1726-2002, maka harus dilakukan penentuan dimensi struktur lagi.
3. Melalui pemodelan struktur, bangunan dianalisis secara statis dan dihasilkan gaya-gaya dalam berdasarkan 18 kombinasi pembebanan. Tulangan longitudinal balok dan kolom plastis didesain terhadap momen *ultimate*, sedangkan untuk kolom elastis momen yang terjadi akibat gempa harus dikalikan dengan FP. Tulangan transversal seluruh komponen struktur didesain dengan momen *probable* akibat tulangan terpasang. Desain tulangan tersebut dicek rasio tulangannya sesuai SNI 03-2847-2002. Dimensi komponen struktur hasil desain dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Dimensi Komponen Struktur

Nama Bangunan	Bangunan 6-Lantai	Bangunan 10-Lantai
Luasan 1 Lantai	2880 m ²	
Panjang Bentang	8 m	
Tinggi Bangunan	21 m	35 m
Tinggi tiap Lantai	3.5 m	
Dimensi Balok Anak	300 x 500 mm ²	
Dimensi Balok Induk	300 x 700 mm ²	
Ketebalan Plat Lantai	12 cm	
Dimensi Kolom Lantai 1	550 x 550 mm ²	600 x 600 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 2	500 x 500 mm ²	600 x 600 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 3	500 x 500 mm ²	550 x 550 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 4	450 x 450 mm ²	550 x 550 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 5	450 x 450 mm ²	500 x 500 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 6	400 x 400 mm ²	500 x 500 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 7		450 x 450 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 8		450 x 450 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 9		400 x 400 mm ²
Dimensi Kolom Lantai 10		400 x 400 mm ²
Mutu Beton (f_c')	30 MPa	
Mutu Tulangan Longitudinal Balok dan Kolom	400 MPa	
Mutu Tulangan Transversal Balok	240 MPa	
Mutu Tulangan Transversal Kolom	400 MPa	

4. Analisis dinamis *Time History Nonlinear* dilakukan dengan program SAP2000 v11 (CSI, 2007) sebanyak 2 kali untuk arah X dan Y. Arah gempa dapat dilihat pada **Gambar 4**. Kemudian dilakukan pengujian asumsi distribusi gaya geser dasar yang terjadi dalam 4 kondisi yaitu saat struktur masih elastis penuh, balok sudah ada yang plastis, kolom plastis pertama kali mengalami sendi plastis, dan detik terakhir analisis. Selain itu juga dilakukan analisis kinerja bangunan apakah bangunan berhasil memenuhi *partial side sway mechanism*.

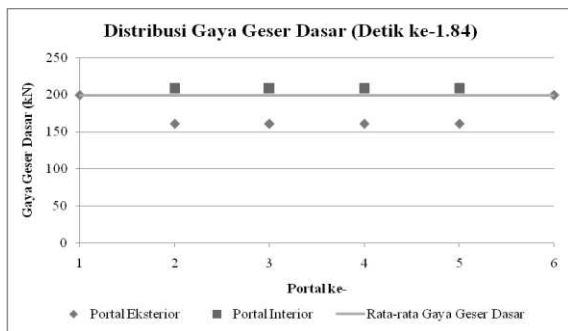


Gambar 4. Orientasi Arah Gempa X dan Y

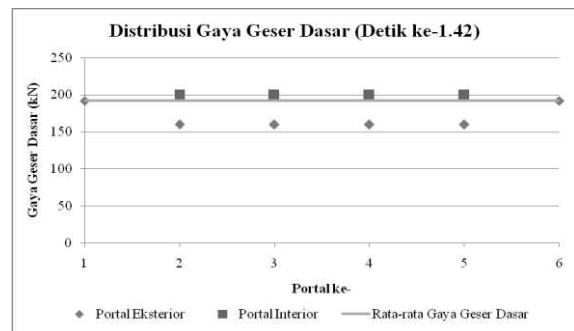
4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Berikut ini merupakan hasil pengujian distribusi gaya geser dalam 4 kondisi, yaitu saat elastis penuh, saat balok telah plastis namun kolom masih elastis, saat kolom plastis telah plastis, dan saat detik terakhir analisis. Sesuai dengan asumsi distribusi gaya geser pada konsep *Pseudo* elastis bahwa pada saat bangunan masih elastis, distribusi gaya geser tersebar merata pada seluruh kolom. Namun pada saat kolom plastis mengalami pelelehan, kelebihan gaya geser dialihkan pada kolom elastis. Oleh sebab itu, gaya geser dasar yang dipikul oleh seluruh kolom eksterior meningkat dibandingkan dengan gaya geser dasar yang dipikul oleh seluruh kolom interior.

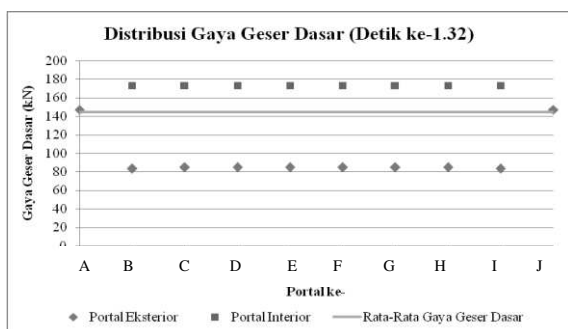
Asumsi distribusi gaya geser merata saat kondisi pertama sudah benar untuk bangunan 6- dan 10-lantai dengan pembebanan gempa arah X seperti terlihat pada **Gambar 5** dan **6**. Namun pada bangunan 6- dan 10-lantai dengan pembebanan gempa arah Y dapat dilihat bahwa asumsi tersebut belum tentu terjadi. Hal ini dapat dilihat bahwa distribusi gaya geser dasar pada kolom interior lebih besar daripada kolom eksterior. Padahal seharusnya distribusi gaya geser dasar adalah merata untuk seluruh kolom seperti terlihat pada **Gambar 7** dan **8**.



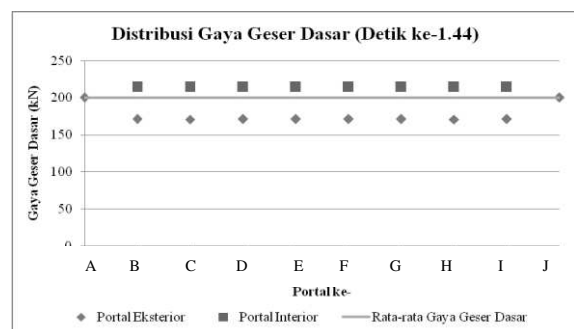
Gambar 5. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-1



Gambar 6. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-1

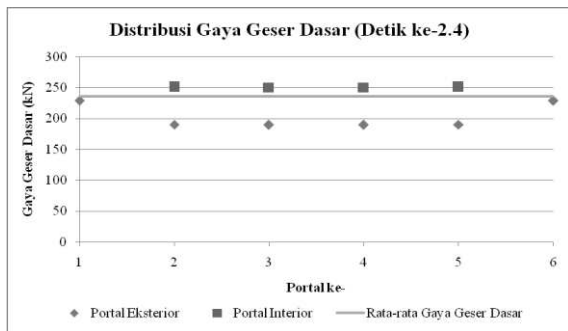


Gambar 7. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-1

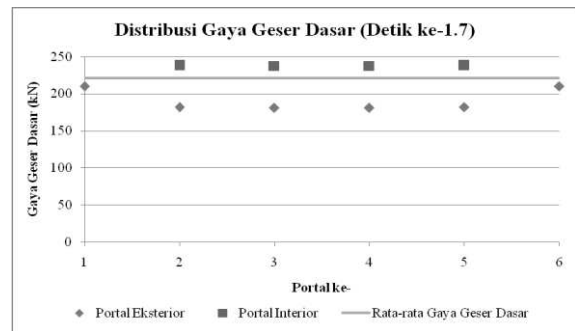


Gambar 8. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-1

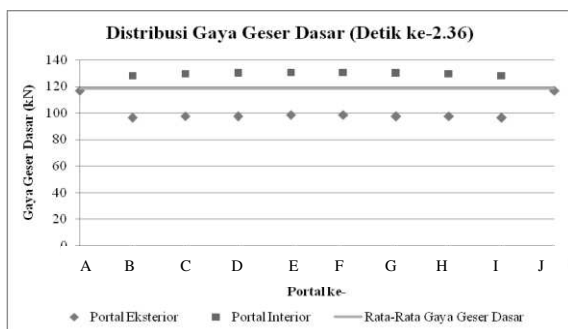
Saat kondisi kedua, distribusi gaya geser dasar seharusnya masih merata untuk seluruh kolom. Hasil bangunan 6- dan 10-lantai dengan arah gempa X menunjukkan bahwa asumsi tersebut benar seperti pada **Gambar 9** dan **10**. Namun terjadi penurunan gaya geser dasar yang ditanggung oleh portal eksterior jika dibandingkan dengan saat masih elastis penuh. Akibatnya terjadi portal eksterior menanggung gaya geser dasar lebih rendah daripada portal interior. Penurunan gaya geser dasar pada portal eksterior tidak terjadi pada bangunan 6- dan 10-lantai dengan arah gempa Y seperti pada **Gambar 11** dan **12**. Walaupun demikian, portal eksterior pada bangunan 6-lantai dengan arah gempa Y tetap menanggung gaya geser dasar yang jauh lebih sedikit dari rata-rata gaya geser dasar.



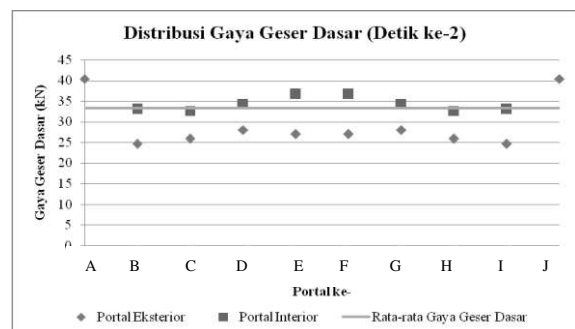
Gambar 9. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-2



Gambar 10. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-2

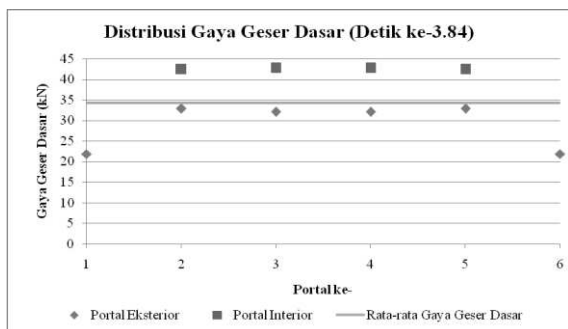


Gambar 11. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-2

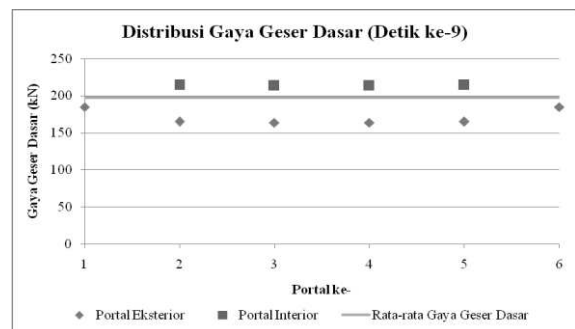


Gambar 12. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-2

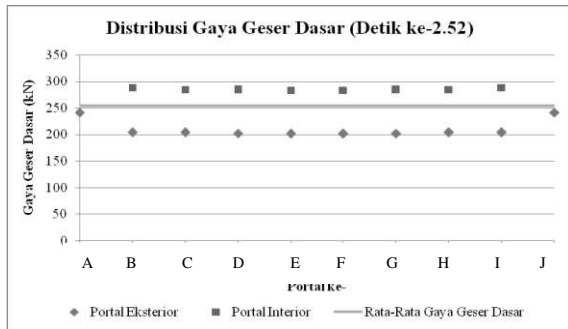
Pada kondisi ketiga, bangunan 6-lantai dengan arah gempa X mengalami peningkatan gaya geser dasar pada portal interior seperti pada **Gambar 13**. Namun pada bangunan 10-lantai dengan arah gempa X terjadi distribusi yang masih merata seperti pada **Gambar 14**. Hasil distribusi bangunan 6-lantai dengan arah gempa Y menunjukkan hasil yang sama dengan bangunan 6-lantai dengan arah gempa X seperti pada **Gambar 15**. Peningkatan gaya geser dasar pada portal eksterior seperti asumsi distribusi gaya geser dasar hanya terjadi di bangunan 10-lantai dengan arah gempa Y seperti pada **Gambar 16**.



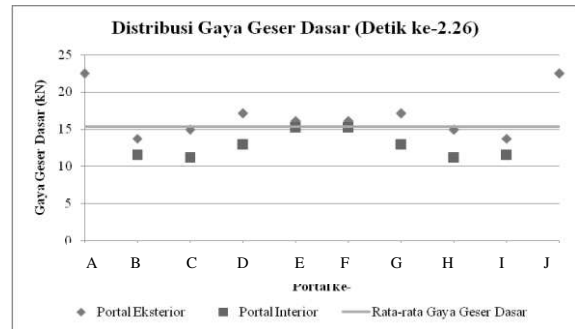
Gambar 13. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-3



Gambar 14. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-3

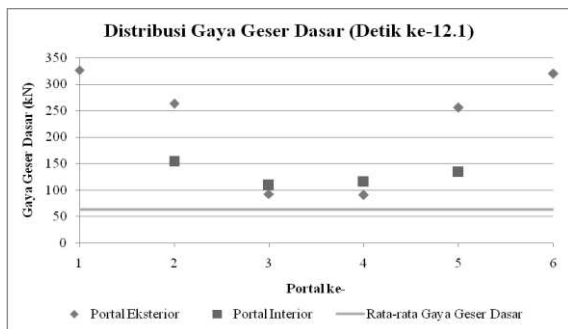


Gambar 15. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-3

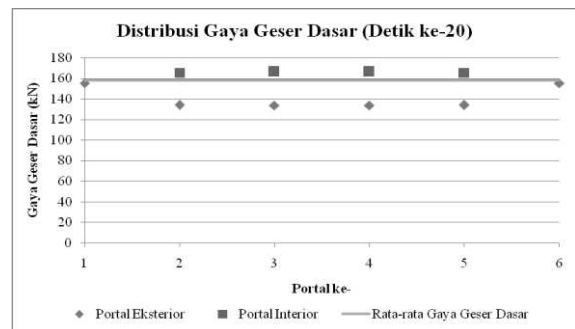


Gambar 16. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-3

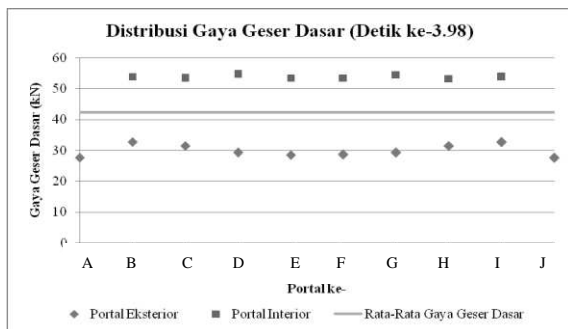
Sewaktu detik terakhir analisis dinamis, pada bangunan 6-lantai arah gempa X terjadi portal eksterior menerima gaya geser dasar lebih besar daripada portal interior seperti pada **Gambar 17**. Sayangnya, gaya geser dasar pada portal interior tetap meningkat sehingga pada akhirnya juga ikut mengalami kegagalan. Pada **Gambar 18**, terlihat bahwa distribusi gaya geser dasar desain *Pseudo* elastis terjadi di bangunan 10-lantai dengan arah gempa X. Pada bangunan 6- dan 10-lantai dengan arah gempa Y, terlihat bahwa portal interior mengalami peningkatan gaya geser dasar sehingga mengalami kegagalan seperti pada **Gambar 19** dan **20**.



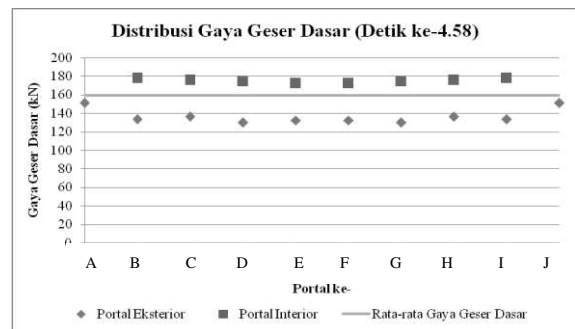
Gambar 17. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-4



Gambar 18. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Memanjang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa X di Kondisi Ke-4



Gambar 19. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 6-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-4



Gambar 20. Grafik Distribusi Gaya Geser Dasar Tiap Portal Melintang pada Bangunan 10-Lantai dengan Arah Gempa Y di Kondisi Ke-4

Hasil analisis dinamis *time history* menunjukkan hasil yang kurang baik kedua bangunan yang diteliti. Bangunan 6-lantai yang dibebani gempa arah X mengalami kegagalan pada detik ke-13.98, sedangkan untuk pembebanan arah Y bangunan mengalami kegagalan pada detik ke-4.54. Kegagalan bangunan

6-lantai terjadi di kolom plastis. Bangunan 10-lantai tidak gagal setelah 20 detik dibebani gempa arah X, tetapi mengalami *soft-story* pada lantai 9. Pada pembebanan arah Y, bangunan 10-lantai mengalami kegagalan pada detik ke-4.58 pada kolom plastisnya juga. Jadi pada penelitian ini keempat bangunan yang diteliti belum memenuhi *partial side sway mechanism* sama sekali.

5. KESIMPULAN

Asumsi distribusi gaya geser yang dipergunakan dalam desain *Pseudo* elastis perlu ditinjau ulang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Chandra, A. dan Dhannyanto. (2003). *Alternatif Perencanaan Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Pseudo Elastis*, Tugas Akhir No.1297/SIP/2003, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Hadiwijaya, I. P. dan Rosita. (2009). *Evaluasi Efisiensi Perencanaan Pseudo Elastis terhadap Desain Kapasitas sesuai SNI 03-2847-2002*, Tugas Akhir No.11011694/SIP/2009, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Harryanto dan Tangguh, A. (2004). *Studi tentang Faktor Pengali Gaya Dalam Kolom Portal Eksterior Berdasarkan Kapasitas Daktilitas Struktur untuk Perencanaan Pseudo Elastis*, Tugas Akhir No.11301335/SIP/2004, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Muljati, I. dan Lumantarna, B. (2008). "Performance of Partial Capacity Design on Fully Ductile Moment Resisting Frame in Highly Seismic Area in Indonesia." *Building a Sustainable Environment*. The Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-11), Taipei, Taiwan, November 19-21.
- Muljati, I., Lumantarna, B., Saputra, R.H., Soegiarto, A. (2006). "Partial Capacity Design, an Alternative to the Capacity Design Method." *Progress in Mechanics of Structures and Materials*. Proceedings of the 19th Australasian Biennial Conference on the Mechanics of Structures and Materials, Oktober, 409-414.
- Paulay, T. (1995). "Special Issues in Seismic Design". *Structural Engineering International* 3. Vol. 5, 160-165.
- Pratama, C. dan Djami, D. Y. (2011). *Evaluasi Perencanaan Pseudo Elastis pada Bangunan Beraturan 6- dan 10- Lantai di Wilayah 6 Peta Gempa Indonesia*, Tugas Akhir No.11011786/SIP/2011, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Sutedjo, Y. dan Tingkir, H.K. (2005). *Perencanaan Struktur Secara Pseudo Elastis dengan Faktor Pengali yang Memperhitungkan Daktilitas Struktur dan Gempa Target 500 Tahun*, Tugas Akhir No.11131418/SIP/2005, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Tindrawati dan Juliana. (1997). *Batasan Pemakaian Perencanaan Pseudo Elastis Menggunakan Satu Kolom Tepi*, Tugas Akhir No.773 S, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.